

仿生素肉糜制品加工中原辅料的应用研究进展

陈林¹, 余林¹, Rammile Ettelaie², 丁利君¹, 孙建霞¹

(¹广东工业大学轻工化工学院食品系 广州 510006

²英国利兹大学食品科学与营养学院 英国利兹 LS29JT)

摘要 仿生素肉糜制品以素仿荤,不仅能在不产生杀戮和减少环境污染的情况下提供接近真实肉类的味道和营养价值,还可有效规避食用动物肉的潜在健康风险,为转变传统肉类消费模式提供了一个理想的选择,已成为素食加工领域的研发热点。本文归纳总结了国内外仿生素肉糜制品加工中原辅料的组成和配方,阐述各原辅料组分对产品质构、风味、色泽、营养等方面的影响,综述该产品国内外生产研发现状,进而探讨我国仿生素肉糜制品加工中存在的理论和技术问题以及未来发展趋势。

关键词 仿生素肉糜制品; 原辅料; 加工工艺; 质构特性; 研究进展

文章编号 1009-7848(2023)02-0410-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.02.039

多吃素食有益身心健康,已受到广泛认同。据统计,2016-2020年,英国的素食主义者由约120万人增加到600万人,对素食产品的需求量也由此大增^[1]。根据益普索咨询公司《2020人造肉中国趋势洞察》报告,在经历了新冠肺炎疫情后,约86%的中国人有意愿改变肉制品消费习惯,存有素食产品替代动物肉制品的想法^[2]。素食正成为21世纪人类不可改变的饮食潮流,开发高品质的素食产品迎合了现代社会大众对健康食品的需求。

仿生素肉糜制品是以植物原料作为蛋白质、油脂的主要来源,辅以其它配料和食品添加剂,借鉴传统肉糜制品的加工方法所制成的素肉制品,代表性的有素肉香肠、素肉饼、素肉丸、素午餐肉等^[3-6]。品质优良的素肉糜制品具有类似传统肉糜制品的口感和味道,而且营养健康、食用方便,为转变传统肉类消费模式提供了一个理想的选择。目前国外已经对仿生素肉糜制品的原辅料配方和加工工艺进行了大量深入研究,取得了系列成果。国外多家公司相继推出了高品质的素肉糜产品,受到广泛好评并吸引了大量投资^[3-8]。据报道,美国市场上最受欢迎的素食食品是素肉香肠和素肉汉

堡,2019年这两款产品的销售额达到9.39亿美元^[7]。欧美早期的仿生肉制品加工技术虽源于中国,但产品升级后,在口感、口味、营养成分等方面都有很大突破^[9-10]。2019年,中国国务院发布的《国务院办公厅关于稳定生猪生产促进转型升级的意见》提出,要加快仿生肉制品的研制和生产,更好地保障市场供应,这为国内素肉制品产业的快速发展提供了政策性支持^[11]。可以预见随着全球素食主义热潮的兴起,在科技进步和优惠政策的推动下,我国素肉制品产业将迎来前所未有的发展机遇,行业规模有望越来越大。本文总结分析仿生素肉糜制品加工中原辅料的应用及对产品品质的影响,综述该类食品国内外研究进展,探讨国内素肉糜制品加工中存在的理论和技术问题以及未来发展趋势。

1 仿生素肉糜制品加工的原辅料配方及其对产品品质的影响

肉糜类制品通常是以动物瘦肉、肥膘、水为主要原料,通过斩拌乳化、灌制成型、加热蒸煮等特定工艺制作而成。经此加工过程,油脂以细粒状分散于肉糜基质中,呈稳定的乳化状态,肉糜体系则在加热后形成凝胶,将油脂和水封闭其中,从而使产品具有肉质细腻、鲜嫩爽口、富有汁液感的质构和口感^[12-14]。与之相对照,素肉糜制品不含动物肉类和脂肪,取而代之的是肉类替代品和植物油脂。

收稿日期: 2022-02-02

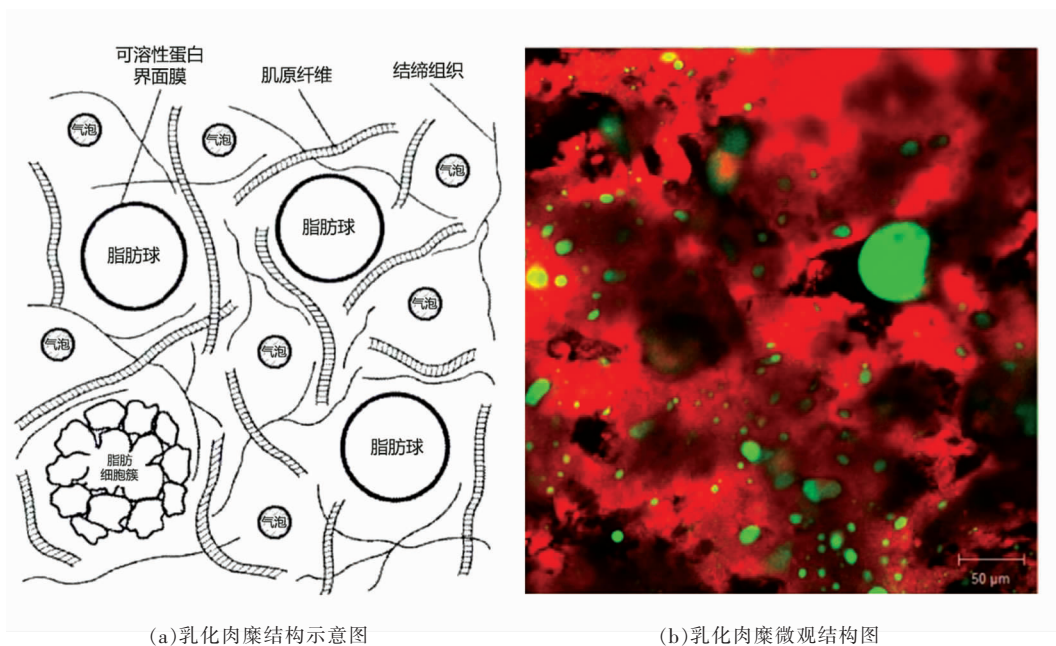
基金项目: 国家自然科学基金项目(31601416);广东省科技计划项目(2017A020208064)

第一作者: 陈林,男,博士,副教授

E-mail: l.chen@gdut.edu.cn

由于制备基础原料不同，为了使素肉糜制品在质构和感官特性方面更接近真实的肉糜制品，需要使用一些其它辅料。根据国内外研究报道，素肉糜

制品的原辅料主要包括肉类替代品、植物油脂、水份、非组织化功能蛋白、黏合物质(淀粉、食品增稠剂)、风味物质和着色物质这 7 大类(见表 1)^[3-6]。



注：肉糜样品的微观结构采用激光共聚焦显微镜拍照观察，样品中油脂采用尼罗红染色，在显微照片中呈现绿色；样品中蛋白采用尼罗蓝染色，在显微照片中呈现红色。

图 1 乳化肉糜的结构示意图^[13]和微观结构图^[15]

Fig.1 The schematic diagram^[13] and microstructure^[15] of emulsified meat batters

表 1 仿生素肉糜制品的基本配方表

Table 1 Basic formula of comminuted meat-analog products

组分	对肉糜产品质构和风味的作用	代表性物质	含量/%
肉类替代品	1)赋予产品类似动物肌肉的咀嚼感 2)有一定持水和持油性 3)对产品的质构有重要影响	大豆组织/拉丝蛋白、菌菇、豆干	10~40
植物油脂	1)赋予肉糜制品滑腻多汁的口感 2)稳定肉糜凝胶结构、改善产品质构	菜籽油、玉米油、椰子油	0~15
水分	溶解、乳化、多汁性、质构	-	40~70
非组织化功能蛋白	1)乳化油脂 2)蛋白胶凝形成素肉糜凝胶的骨架结构,对产品的质构和口感有重要影响	大豆分离蛋白、酪蛋白酸钠、乳清蛋白、谷朊粉	4~20
黏合物质	1)将肉糜中原辅料黏合在一起 2)与蛋白作用,提高素肉糜凝胶的稳定性和质构特性 3)通过强烈水合作用保持肉糜中的水分	淀粉和食品增稠剂	1~10
风味物质	增强风味	基本调味料、天然香料、香料提取物、肉味香精	3~10
着色物质	改善产品外观和色泽	红曲红、甜菜汁提取物、焦糖色素、大豆血红蛋白	0~0.5

1.1 肉类替代品在仿生素肉糜制品加工中的应用

1.1.1 传统肉类替代品 在我国传统食品加工中,豆干、面筋、菌菇等常被用于制备素肉食品,不仅可模仿出肉品食用特性,而且具有自身特殊风味和保健功效,深受人民群众的喜爱。如我国传统的素鸡就是以百叶豆干为主料,经过一番烹饪调味后,可达到以素仿荤的效果^[16]。有研究报道以竹荪、鸡腿菇、杏鲍菇等菌菇为原料,捣碎后添加大豆分离蛋白、淀粉、菜籽油等辅料,再经斩拌、烘干、成型等工序制成素肉脯、素火腿肠等产品,不仅有菌菇的清香,还有类似肉制品的味道和口感^[17-19]。

1.1.2 植物组织蛋白 随着食品加工技术的进步,人们发现植物蛋白经过组织化加工可形成类似动物肌肉纤维质感的组织蛋白。目前蛋白组织化加工技术主要有挤压和纺丝两种,其中采用挤压法生产植物组织蛋白已得到广泛应用,而纺丝法会产生大量废水,还需要使用化学添加剂凝固蛋白纤维,生产成本高、工艺复杂、产品安全性低,在实际生产中应用较少^[20-25]。据报道,植物蛋白在螺杆挤压机中经高温、高压和高剪切力联合作用发生变性,形成可塑化的熔融体,从挤压出口挤出的瞬间蛋白物料发生膨化作用,形成新的交链和纤维状蛋白结构(如图1所示)^[21-23]。早在上世纪六十年代人们就利用螺杆挤压技术制备大豆组织蛋白(Texture soy protein, TSP),后来研发出更高端的大豆拉丝蛋白(Texture fibril soy protein, TFSP),不仅持水持油性更强,而且肉质咀嚼感更逼真^[22-25]。目前TFSP的生产技术已较为成熟,我国有50余家生产厂家,年产量达11万t^[9]。TFSP产品一般为干燥的片状、条状或球状固形物,分为软丝型和硬丝型两类,其价格仅为瘦猪肉的1/2,蛋白含量却高达60%以上,约为瘦猪肉的3倍;软丝型TFSP口感细腻,适合做鸡肉等肉质较细腻的仿生食品,硬丝型TFSP的纤维感较强、质地偏硬,适合做牛肉等肉质较粗糙的仿生食品^[26-27]。TFSP使用前需要长时间复水,还要经过繁琐的脱水和拆丝处理。为解决上述问题,近年来开发出了高水分挤压技术,在物料混合区加入更多水分(物料含水量达到40%~80%),同时在成型区安装冷却模头,使产品快速降温,获得了柔软致密

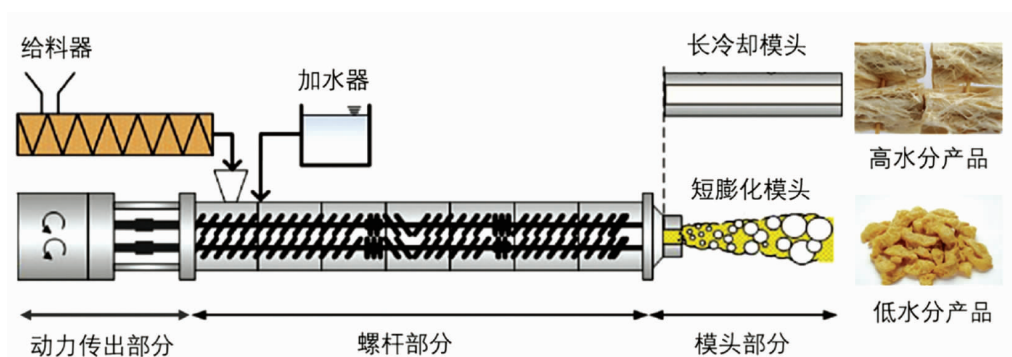
的新型组织蛋白(含水量一般超过30%),不仅具有即食、即用的优点,而且产品纤维结构丰富,极具动物肌肉的咀嚼感。然而,高水分挤压过程仍是一个“黑箱”,纤维结构形成的分子机制尚不明确,纤维结构和质构还无法有效调控,且产品的贮藏期较短,目前尚无上市产品,仍然停留在试验摸索阶段^[3,25,28]。

由于大豆蛋白存在致敏性和豆腥味,其它来源的蛋白也逐步用于植物组织蛋白的生产研发。如豌豆组织蛋白由于致敏性低、豆腥味淡、不含植物雌激素等优点,特别受到欧美人的喜爱。据报道,豌豆组织蛋白在模拟肉质咀嚼感方面虽不如大豆组织蛋白,但其胶凝特性优于大豆组织蛋白,因此特别适用于制作素肉糜制品^[29-30]。欧美多家生产素肉糜产品的主流公司都是以豌豆组织蛋白作为肉类替代品^[5,31]。此外,真菌蛋白生产原料充足、节能环保、营养健康,也是一种制作素肉的优质原料。“阔恩素肉”就是以真菌蛋白为主料,以该素肉为原料制备的素肉糜产品占英国素肉产品市场销售额一半以上^[32]。

肉类替代品的种类、用量和质构特性对素肉糜制品的品质有重要影响。赵知微^[33]分别将腐竹、烤麸和TSP作为主原料制作素肉饼,结果发现以TSP为素肉基底制作的素肉饼的质构和感官品质最佳。徐进等^[34]研究发现豌豆组织蛋白的用量会显著($P<0.05$)影响该素肉香肠的质构和感官品质,10%的豌豆组织蛋白添加量为最适用量,添加过少素肉香肠的质构偏软且缺乏肉质咀嚼感,添加过多则会破坏香肠肉糜的凝胶体系,使香肠蒸煮损失率增大,切面结构粗糙、松散、口感发渣。李翠芳等^[37]研究发现,不同TFSP产品的口感与其蛋白含量密切相关,原料中蛋白含量为70%的TFSP所制备的素肉饼的质构和感官评价得分最高。

1.2 植物油脂在仿生素肉糜制品加工中的应用

肉糜制品本质上是一种乳化物凝胶,其乳化稳定性是由乳化油脂表面蛋白膜和蛋白凝胶基质包埋固定共同作用的结果;另一方面乳化油脂微粒以“填充物”的形式占据蛋白凝胶基质的网络空隙,具有稳定凝胶结构、改善香肠质构、汁液感和风味等多种功能^[12-14]。目前常用于素肉糜制品的油

图 2 用于植物组织蛋白生产的螺杆挤压机结构示意图^[21]Fig.2 Schematic diagram of screw extruder for the production of textured vegetable proteins^[21]

脂有菜籽油、椰子油、玉米油和橄榄油等^[5,20]。相对于动物脂肪而言,植物油脂不饱和脂肪酸含量高且不含胆固醇,符合素肉糜产品打造的营养、健康优势。

新鲜动物肌肉中含有盐溶性肌球蛋白和胶原蛋白,具有良好的乳化和凝胶特性,可高效地乳化油脂,加热后又可形成具有黏弹性的乳化物凝胶。制作传统肉糜制品时,通常只需将原料肉、脂肪、少量植物蛋白和淀粉混合后斩拌乳化、加热蒸煮即可制备出具有良好质构特性的产品^[14]。然而,无论是传统素肉还是新型植物组织蛋白,它们的乳化和凝胶性能都远不如肌肉蛋白,不仅可乳化的油脂量少,而且加热后难以形成具有黏弹性的凝胶^[29-30]。此外,素肉糜制品中采用的植物油在室温下呈液态,采用传统加工工艺直接添加会使产品出现出油出水等质量缺陷^[36]。据报道,在素肉香肠斩拌乳化工序中直接添加超过 5% 的植物油就会使香肠变得既柔软又油腻,在加热蒸煮后会出现明显的“漏油”现象,严重影响了香肠的质构和感官品质^[4,37]。因此要制备出质地口感优良的素肉糜制品,不仅要使用食品乳化剂、增稠剂等品质改良剂,还应对传统肉糜制品的加工工艺进行调整和优化。油脂预乳化工艺是近年来提出的一种提高肉糜制品品质的新型加工方法。不同于传统肉糜加工工艺中直接将所有原辅料一起混合斩拌的方式,预乳化工艺把需要额外添加的油脂、乳化蛋白和水先均质形成预乳化液,然后再将预乳化液与其它原辅料混合均匀^[38-41]。研究表明将此法应用于素肉糜加工,可起到保油增香、减小蒸煮损失率和改善质构的作用^[39-41]。如陈文华等^[39]首先将大豆分

离蛋白和大豆油放入斩拌机中高速斩拌 6 min 得到乳化物,然后再将乳化物与 TSP、淀粉、增稠剂等原辅料置于真空搅拌机低速搅拌 30 min 混合均匀,结果发现与采用传统乳化肠加工工艺制作的 TSP 素肉香肠相比,此法制备的 TSP 素肉香肠的蒸煮损失率显著($P < 0.05$)下降,且香肠的切片性和口感也得到明显改善。Youssef 等^[41]研究发现油脂预乳化工艺可提高乳化油脂的稳定性和在香肠凝胶基质中的均匀分布,从而使乳化油脂的“填充作用”得以发挥,不仅增强了香肠的保水保油能力,降低了蒸煮损失率,而且对提升香肠的质构和感官品质也产生重要作用。

1.3 仿生素肉糜制品加工中水分来源及调配

肉糜中水分的含量、分布状态与肉糜的持水能力密切相关,对产品质量、口感、货架期等都有重要影响。素肉糜制品的水分主要来源于以下几个方面。

1.3.1 肉类替代品含有的水分 TFSP、干菌菇等肉类替代品本身含有的水分很少,在使用前要进行复水处理。复水后湿基物料的质量通常控制在干料的 2~3 倍,这部分吸收的水分是素肉糜制品配方设计中必须考虑的部分^[4]。

1.3.2 预乳化液中含有的水分 蛋白质只有在充分水合后才能发挥其功能特性,因此在制备预乳化液时要使用足够的水分。如陈林等^[40]研究发现当预乳化液中大豆分离蛋白、菜籽油、水的比例为 1:4.5:4.5(质量比)时,所制备的 TFSP 素肉香肠的乳化稳定性最好,蒸煮损失率也最低。

1.3.3 添加物料中本身含有的水分 为了准确了解和控制素肉糜制品的水分含量,在设计配方时,

要测定计算出各种原辅料的水分含量,以便产品配方设计时能具体把握。

1.3.4 素肉糜配方需添加的水分计算 需添加的水分量是复水组织蛋白、预乳化液、添加物料中水分含量与设计产品的水分含量之差所需的水分量。传统肉糜制品中水分含量在50%~80%,然而素肉糜制品中肉类替代品的持水和胶凝作用比肌肉蛋白弱,因此素肉糜制品的水分含量通常比传统肉糜制品低。事实上,许多研究者都认为在素肉糜制品加工过程中要尽可能少地添加水分,然而也要兼顾肉糜黏度过大而影响产品的加工和品质^[4-6,42]。

肉糜制品中大部分水为自由水,起持水作用的主要结构单位是肉糜凝胶网络^[14]。传统素肉和植物组织蛋白本身虽有一定持水能力,但胶凝作用普遍较弱,因此要提高素肉糜制品持水性关键在于提高素肉糜的凝胶特性^[5,37]。目前提高素肉糜制品凝胶和持水性的方法主要包括:1)使用转谷氨酰胺酶、氯化钙、葡萄糖酸内酯等蛋白交联剂增强植物蛋白的胶凝作用,如Forghani等^[43]在制作TSP素肉饼的过程中,添加了0.75%的转谷氨酰胺酶,然后于常温下腌制1h,结果显著提高了素肉饼的持水性,并改善了产品的弹性、咀嚼性和切片性;2)使用具有良好水合作用和胶凝作用的非组织化功能蛋白,如酪蛋白酸钠、乳清蛋白、大豆分离蛋白、谷朊粉等^[44-46];3)使用淀粉、亲水胶体等具有增稠和胶凝作用的品质改良剂^[47-56]。非组织化功能蛋白、淀粉和亲水胶体对素肉糜制品凝胶和持水性的影响将在后文中阐述。

1.4 非组织化功能蛋白在仿生素肉糜制品加工中的应用

肉类替代品普遍缺乏乳化和凝胶能力,因此在素肉糜制品加工中通常需要添加具有良好乳化和凝胶性能的非组织化功能蛋白,常用的有酪蛋白酸钠、乳清蛋白、大豆分离蛋白、谷朊粉等^[3-5]。酪蛋白酸钠、乳清蛋白和大豆分离蛋白都具有良好的乳化能力,可高效乳化油脂并形成稳定的乳化体系,从而防止肉糜制品中油脂的离析;然而这3种食品蛋白的胶凝和黏合作用都弱于肌肉蛋白,单独使用所制备的素肉糜制品往往质构偏软,嫩度、弹性和韧性不足^[44]。此外,酪蛋白酸钠和乳清

蛋白是动物源蛋白,对纯素食者(Vegetarians)来说无法接受,而奶蛋素食者(Vegans,不吃需要杀死动物的食品)则可以接受^[4]。有文献报道在素肉糜加工中采用花生分离蛋白、豌豆分离蛋白制备乳化体,这些豆类分离蛋白的功能特性与大豆分离蛋白相似^[44-46]。谷朊粉的主要成分是小麦蛋白,吸水后形成的胶状物质具有很强的黏弹性、成膜性和成团性,因此被认为是肉糜制品的最佳黏合剂和填充剂,不仅可使肉糜制品形成坚实的组织结构,还可增加制品的持水特性;然而,谷朊粉的乳化能力很弱,且单独使用所形成的凝胶具有类似“橡胶”的口感^[44-46]。由上述文献报道可知,在素肉糜制品加工过程中,油水的乳化主要依赖具有良好乳化性能的食品蛋白来完成,乳化稳定性则是由乳化油脂表面蛋白膜和肉糜凝胶基质包埋固定共同作用的结果。然而,蛋白质的不同功能特性对其结构和理化性质有着不同的要求,同一种食品蛋白通常难以同时具备良好的乳化、凝胶和黏合能力^[48]。因此在素肉糜制品的加工中可使用2种(或以上)具有不同功能特性的食品蛋白。如本课题组在制备TFSP素肉香肠时采用大豆分离蛋白对植物油脂进行预乳化,然后在香肠馅料的制备过程中加入谷朊粉发挥胶凝和黏合的作用,结果发现此法可使素肉香肠的蒸煮损失率显著($P<0.05$)降低,并使香肠的整体组织状态紧密而有弹性^[40]。

1.5 黏合物质在仿生素肉糜制品加工中的应用

1.5.1 淀粉 淀粉常用作肉糜制品的黏合剂和赋形剂,其受热易糊化,可将肉糜中的水分吸入淀粉颗粒而固定,提高肉糜的持水性;同时,淀粉颗粒加热糊化后可使肉馅黏合、弥塞空隙,赋予肉糜制品良好的组织状态;此外,糊化淀粉还能吸附一部分在加热过程中受热渗出的油脂,减少油脂流失^[9]。淀粉的种类很多,常用于肉糜制品加工的是谷物类淀粉(如玉米淀粉、小麦淀粉、大米淀粉等)和薯蓣类淀粉(如马铃薯淀粉、木薯淀粉等),二者由于结构和理化特性不同而适用于不同的肉糜制品。一般来说,薯蓣类淀粉的糊化温度较低且支链淀粉含量较高,因此吸水能力强、黏度大,适用于制作低温肉糜类制品(烹制和杀菌温度低于100℃);谷类淀粉的糊化温度较高且直链淀粉含量较高,因此胶凝作用较强,适用于制作高温肉糜类制

品(烹制和杀菌温度高于 100 ℃)^[47]。与传统肉糜制品相比,素肉糜制品因原料差异在加工中要添加更多的淀粉以满足产品质量的需要,然而淀粉使用量超过 10%时,会产生明显的粉质感,且在低温环境中易导致产品返生和析水现象^[5,32]。有研究对淀粉进行改性处理,可提高其在素肉糜制品加工中的作用效果。如赵知微^[33]在素肉饼加工过程中添加经磷酸酯化的马铃薯变性淀粉,结果发现产品的持水性和冻融稳定性都显著改善。Ioffe 等^[48]研究发现与添加马铃薯淀粉的素牛肉脯相比,添加了氧化羟丙基变性淀粉的素牛肉脯具有更低的蒸煮损失率,且在贮藏过程中素肉脯质构特性变化更小;这是因为该变性淀粉不易老化,且很可能在加热过程中与底物蛋白发生了共价络合,从而使肉糜凝胶结构更加稳固。

1.5.2 食品增稠剂 食品增稠剂是食品添加剂的一类,常用于肉糜制品加工,具有优越的胶凝、黏合、增稠和持水等作用,合理使用可显著改善肉糜制品的质构和口感。我国国标 GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中允许使用的食品增稠剂有 45 种,除明胶外都是植物源或微生物源的高分子多糖物质,分子中普遍具有许多亲水性基团,易产生水合作用而具有较强的持水性。如马铃薯淀粉吸水比例约为 1:2,大豆分离蛋白的吸水比例约为 1:4,而亲水胶体的吸水比例可达数十倍^[49]。目前在肉糜制品中应用较多的增稠剂有卡拉胶、琼脂、明胶、海藻酸钠、可得然胶、瓜儿胶、黄原胶、魔芋胶、槐豆胶和亚麻籽胶,

前 5 种胶体的主要作用为胶凝化,后 5 种胶体的主要作用是增稠和黏合^[50-57]。在肉糜制品中使用一种食品增稠剂往往在技术或经济上有种种缺点,而通过合理的胶体复配可使各种食品胶之间产生互补或协同增效作用,从而扩大增稠剂的使用范围和提高其使用功能。如美国一家公司研制的素食汉堡肉饼中使用魔芋胶和黄原胶复配,形成热可逆凝胶,在低温下呈凝胶状态提供黏结性,加热后呈液态提供多汁性^[55]。表 2 归纳总结了肉糜制品加工中常用食品胶体的相互作用,发现黄原胶具有良好的配伍性,与其它胶体复配使用往往会产生协同增效作用;琼脂与卡拉胶、黄原胶、明胶之间有明显的协同增效作用,而与槐豆胶、瓜儿胶、海藻酸钠、淀粉产生拮抗作用使琼脂的凝胶强度下降^[50-57]。另一方面,值得注意的是食品胶体的功效还受到肉糜体系中底物蛋白的影响。如 κ-卡拉胶能与肌肉蛋白结合,形成坚实的凝胶网络结构,从而可显著改善肉糜制品的保水保油性和质构特性^[53]。然而,杜洁晨^[42]研究发现卡拉胶与 TSP 的结合能力较弱,其对 TSP 素肉香肠质构特性的影响不如可得然胶和魔芋胶。Nanta 等^[58]研究发现不同食品胶体与 TSP 的结合性越好,添加后所制备的 TSP 肉糜的保水保油性也越好,质构硬度下降越明显;使用卡拉胶只能使 TSP 肉糜硬度略有下降,而使用瓜儿胶或黄原胶可使 TSP 肉糜硬度大幅度降低。由此可见,动物蛋白和植物蛋白的差异会导致添加食品胶后作用效果不同,而目前国内外关于不同食品胶与肉类替代品结合力的比

表 2 常用食品亲水胶体的相互作用

Table 2 Interactions of commonly used food hydrocolloids

	琼脂	卡拉胶	明胶	海藻酸钠	瓜儿胶	黄原胶	魔芋胶	槐豆胶	淀粉
主要作用为胶凝化的亲水胶体									
琼脂		+	+	××	××	+		××	××
卡拉胶	+		+	×	×	+	+	+	
明胶	+	+		+		+			
海藻酸钠	××	×	+		+	+			
可得然胶		+				+	+		
主要作用为增稠性的亲水胶体									
瓜儿胶	+	+		+		+	+		
黄原胶	+	+	+	+	+		+	+	+
魔芋胶		+				+			+
槐豆胶	××	+				+			
亚麻籽胶	+	+		+		+			

注:“+”表示相互之间有协调作用;“×”表示相互之间没有协调作用;“××”表示相互之间具有相克(拮抗)作用。

较及对素肉糜胶凝作用和质构特性的影响研究报道较少,缺乏系统的基础研究和理论指导。

1.6 风味物质在仿生素肉糜制品加工中的应用

风味物质在影响素肉糜制品的滋味和香气方面发挥重要作用,使之有“肉味”而满足消费者的感官需求。肉类特殊的香味是由含硫化合物以及一些微量的醛、酮、醇组成,而滋味则来源于肉中的氨基酸、多肽、呈味核苷酸、有机酸、盐等^[59-60]。目前,应用于素肉糜产品的风味物质主要包括基本调味料、天然香料、香料提取物、肉味香精等。如沈军卫^[61]利用大豆蛋白酶解物与还原糖经美拉德反应合成猪肉香精,产品味感浓郁,具有猪肉烘烤的香气。高应瑞^[62]以食用毕赤酵母为原料,通过生物技术手段将酵母菌中的蛋白质、核苷酸类物质进行水解,再经精制加工得到牛肉味酵母精,产品香气突出、口感醇厚、留香时间长,可有效掩蔽大豆蛋白的“豆腥味”。此外,酵母精还有一定乳化特性,能改善蛋白质和脂肪的亲水性,因此特别适用于乳化肉糜类制品。未来的研究方向是研究多种不同技术开发多种香气浓郁的肉味香精,使素肉糜风味更接近真实肉糜产品。

1.7 着色物质在仿生素肉糜制品加工中的应用

肉制品的颜色是影响消费者购买欲望的重要因素。在烹饪过程中肉由红色逐渐变成微褐色,所以素肉糜制品也应该考虑烹饪前与熟制成品的颜色变化。目前素肉糜制品颜色主要通过以下2种方法调节:第1种是将红曲红、甜菜红、番茄红等传统着色剂与氨基酸、还原糖组合使用,在烹饪前可模仿出鲜肉的红色,在烹饪过程中氨基酸与还原糖发生美拉德反应产生褐变,能够模仿出熟肉的微褐色。然而,该方法存在传统着色剂易氧化、产品肉色不自然且缺乏光泽感等问题^[5,20]。第2种是采用微生物发酵法制备植物血红蛋白,并将其加入素肉糜制品呈现肉色。如利用毕赤酵母成功制备出了植物来源的大豆血红蛋白,将其按一定比例加入素肉糜制品中可使产品在色泽、口感、风味(包括血腥味)上更加接近动物肉制品^[55]。

2 仿生素肉糜制品的生产研发现状及存在的问题

近年来,国外仿生素肉糜制品研发不断取得

突破性进展,大大推动了相关产业的发展。2016年,美国一家公司推出了以豌豆组织蛋白为主要原料的素肉汉堡、素食香肠等产品,不仅在外观上与动物肉制品高度仿真,而且经高温烹制后仍极具动物肉制品的风味和质感。这主要得益于该公司在挤压组织化加工技术、植物油脂乳化、黏合物质和风味物质研发等方面取得的突破^[63-64]。据统计,该公司在上述研究方向共申请了15件专利,其中8件已获授权,且与该公司有紧密合作的美国密苏里大学 Huff 教授课题组近5年发表了13篇与素肉糜制品相关的高水平论文^[8,64]。国际知名科技评论期刊《麻省理工科技评论》发布的2019年“全球十大突破性技术”将该公司的素肉汉堡列入其中^[65]。另一项较大的技术突破是大豆血红蛋白规模化生产的研制成功。美国一家公司通过基因重组技术获得了可编码大豆血红蛋白的毕赤酵母,解决了大豆血红蛋白难以大量合成、成本高昂的技术问题^[55]。2019年,该公司与汉堡王合作推出添加了大豆血红蛋白的人造牛肉汉堡,已在全美数千家汉堡王餐厅销售,定价仅比普通牛肉汉堡高1美元,而外观、滋味和口感都足以与传统牛肉汉堡相媲美^[55,63]。2019年素肉制品产业全球规模已达121亿美元,市场份额主要集中在美国,排名前4的均是美国食品企业,产品形式主要为香肠、肉饼、肉丸等肉糜制品^[2]。素肉制品产业在过去几年受到众多资本的青睐,据统计相关企业已获投资数千万美元。受到国外素肉制品科技创新和产业发展的影响,近年来,国内素肉制品初创企业不断兴起,传统肉制品企业也相继推出新研发的素肉糜产品,然而在品质上仍与国外产品有较大差距,市场反响不高。国内食品科技界高度关注和重视素肉制品的研发和生产。2020年中国食品科技学会召集业内相关专家、企业代表在北京召开“植物基食品科学问题与未来挑战专题会”。与会代表一致认为中国素肉制品产业正面临前所未有的机遇和挑战,科技界应为素肉制品加工和产业发展提供技术支持、理论思考和政策性建议;会后发布了《植物基肉制品》团体标准(征求意见稿),拟就素肉制品的定义和市场定位,相关技术指标要求和检验规则等制定标准^[66]。本文通过对国内外素肉糜产品研发和加工现状的总结分析,认为目

前国内素肉糜制品加工主要存在如下理论和技术问题:

1) 素肉糜的肉质咀嚼感主要来源于其中的肉类替代品, 目前国内肉类替代品大部分采用低水分挤压法制备的 TSP 或 TFSP, 使用前需经复水、脱水、拆丝等繁琐工序, 制得的产品存在纤维结构松散、有豆腥味、肉质感不强等问题。高水分挤压法制备的新型植物组织蛋白在口感和质地上与动物肉更加接近, 且具有即食、即用的优点。然而, 高水分挤压组织化加工技术研究基础较为薄弱, 挤压过程的功能区段作用尚不明确, 蛋白质关键结构域解析不充分, 组分分子间相互作用变化及品质形成规律不明晰, 导致组织蛋白的纤维结构和质构还无法有效调控。

2) 制作素肉糜制品的最大挑战在于控制肉糜的质构, 为了使产品在质构上接近真实肉糜制品, 不仅要使用非组织化功能蛋白、淀粉、亲水胶体等品质改良剂, 还应对传统肉糜制品的加工工艺进行调整和优化。目前关于动物肌肉与品质改良剂相互作用对肉糜质构特性的影响研究报道很多, 已积累了丰富的理论和实践成果, 在提高产品质量、改善加工工艺和指导新型产品研发等方面起到了巨大的推动作用。然而, 肉类替代品与动物肌肉的差异会导致添加品质改良剂后作用效果不同, 原辅料间相互作用对素肉糜胶凝作用和质构特性的影响国内外研究报道却很少, 缺乏系统的基础研究和理论指导。

3) 肉类在加工过程中会发生特定的颜色变化, 并生成特殊的气味和滋味物质, 目前国产素肉糜产品对肉制品在加工过程中发生的动态变化的模拟替代程度仍然较低, 对比国外素肉糜产品的研发成果, 国内缺乏高端工艺设备, 具有风味以及着色物质的专利壁垒。

3 结语和展望

本文对国内外仿生素肉糜制品加工中原辅料的应用情况进行了归纳总结, 肉类替代品、油脂、水分、非组织化功能蛋白、黏合物质、风味物质和着色物质对于素肉糜制品的质构和感官特性起着决定性影响作用, 通过原辅料的科学配比和合理优化, 能够制备出外观逼真、口感鲜嫩多汁且富有

肉质咀嚼感的产品。目前国外仿生素肉糜制品加工技术发展势头强劲, 技术实力雄厚的国外企业已经进军中国市场。我国大豆蛋白、花生蛋白、植物油脂、亲水胶体等资源丰富, 民众对素食产品的接受度高, 素肉糜产品在我国的市场前景广阔, 产业发展潜力巨大。素肉制品在中国的发展, 产品制作的安全性是基础, 好吃的口味和合适的价格则是拉动可持续消费的两个重要因素。国内食品界应审时度势, 抓住消费者对于健康和素食加速提升的需求, 组织力量加大研发力度, 尽快解决仿生素肉糜制品加工中存在的一系列理论和技术问题, 研制出具有中国饮食特色的优质素肉糜产品。

参 考 文 献

- [1] ASCHEMANN-WITZEL J, GANTRIIS R F, FRAGA P, et al. Plant-based food and protein trend from a business perspective: Markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(18): 3119-3128.
- [2] 益普索咨询有限公司. 《2020 人造肉中国趋势洞察》[EB/OL]. (2020-08-06)[2021-09-02]. <https://www.ipsos.com/zh-cn/yipusuoipsos-2020renzaorouzhongguoqushidongcha>. Ipsos (China) Consulting Co., Ltd. Insight into the trend of artificial meat in China in 2020 [EB/OL]. (2020-08-06)[2021-09-02]. <https://www.ipsos.com/zh-cn/yipusuoipsos-2020renzaorouzhongguoqushidongcha>.
- [3] 吴元浩, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 植物基仿肉原料的应用与加工现状[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(17): 5955-5963. WU Y H, XU J T, LIU X R, et al. Application and processing status of plant-based meat analogue ingredients[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(17): 5955-5963.
- [4] MARIANSKI A, MARIANSKI S. The art of making vegetarian sausages[M]. New York: Bookmagic Publishers, 2015: 1-9.
- [5] SHA L, XIONG Y L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2020, 102: 51-61.
- [6] BOHRER B M. An investigation of the formulation

- and nutritional composition of modern meat analogue products[J]. *Food Science Human Well*, 2019, 8(4): 320–329.
- [7] CHOUDHURY D, SINGH S, SEAH J S H, et al. Commercialization of plant-based meat alternatives[J]. *Trends in Plant Science*, 2020, 25(11): 1055–1058.
- [8] 赵鑫锐, 王志新, 邓宇, 等. 人造肉生产技术相关专利分析[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(5): 299–305.
- ZHAO X R, WANG Z X, DENG Y, et al. The analysis of patents related to the production of artificial meat[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(5): 299–305.
- [9] 郭顺堂, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 我国植物蛋白资源高效利用与技术创新[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(6): 8–15.
- GUO S T, XU J T, LIU X R, et al. Efficient utilization and technological innovation of plant-based protein resources in China[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(6): 8–15.
- [10] 张斌, 屠康. 传统肉类替代品——人造肉的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(9): 327–333.
- ZHANG B, TU K. The research advance of traditional meat substitutes-artificial meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(9): 327–333.
- [11] 中华人民共和国国务院办公厅. 国务院办公厅关于稳定生猪生产促进转型升级的意见[J]. *饲料与畜牧*, 2019(10): 5–8.
- General Office of the State Council of the People's Republic of China. Comments on stabilizing the production of pig and promoting the industrial transformation and upgradation[J]. *Feed and Husbandry*, 2019(10): 5–8.
- [12] 汪张贵, 闫利萍, 彭增起, 等. 脂肪剪切乳化和蛋白基质对肉糜乳化稳定性的重要作用[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(8): 466–469.
- WANG Z G, YAN L P, PENG Z Q, et al. Importance of shearing fat emulsification and protein matrix in meat batter stability[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(8): 466–469.
- [13] GERRARD D E, MILLS E W, FORREST J C, et al. *Principles of meat science*[M]. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 2012: 37–38.
- [14] PURSLOW P P. Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness; some paradigms reviewed[J]. *Meat Science*, 2018, 144(SI): 127–134.
- [15] ZHANG D Z, XU B C, ZHANG Y J, et al. L -Arginine/ L -Lysine alleviated the deterioration of emulsion sausages with partial replacement of porcine backfat by soybean oil by hindering hydroxyl radical stressed oxidation of meat proteins[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 1(5): 967–974.
- [16] 肖飞. 梁武帝礼佛传素鸡[J]. *饮食科学*, 2018(6): 53.
- XIAO F. Emperor Liangwu spread vegetarian chicken when worshipping the Buddha[J]. *Diet Science*, 2018(6): 53.
- [17] 陈浩, 唐娟, 唐金艳, 等. 休闲竹荪素肉的研制[J]. *农产品加工*, 2019(4): 5–8.
- CHEN H, TANG J, TANG J Y, et al. Preparation of leisure *Dictyophora indusiata* vegetarian meat[J]. *Farm Products Processing*, 2019(4): 5–8.
- [18] 王洪立, 陈家浩, 任伟, 等. 鸡腿菇素火腿肠的工艺研究[J]. *特种经济动植物*, 2015, 18(7): 51–52.
- WANG H L, CHEN J H, REN W, et al. Research on the processing technology of vegetarian *Coprinus comatus* sausage[J]. *Special Economic Animals and Plants*, 2015, 18(7): 51–52.
- [19] 卢菲, 李云波, 时双千, 等. 杏鲍菇肠配料组成及保藏特性研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(6): 285–289.
- LU F, LI Y B, SHI S Q, et al. Study on ingredient composition and preservation characteristics of *Pleurotus eryngii* sausage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(6): 285–289.
- [20] 刘梦然, 毛衍伟, 罗欣, 等. 植物蛋白素肉原料与工艺的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 293–298.
- LIU M R, MAO Y W, LUO X, et al. Research progress on materials and technologies of plant-based meat[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 293–298.
- [21] 刘业学, 王稳行. 从肌肉的组织结构和生成机制探讨“人造肉”开发的仿生技术[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(8): 295–307.
- LIU Y X, WANG W H. Discussion on the bioinspiration technology of 'artificial meat' from the structure and growth mechanism of muscles[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(8): 295–307.
- [22] 江连洲, 张鑫, 窦薇, 等. 植物基肉制品研究进展

- 与未来挑战[J]. 中国食品学报, 2020, 20(8): 1-10.
- JIANG L Z, ZHANG X, DOU W, et al. Advance and challenges in plant-based meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(8): 1-10.
- [23] BENIWAL A S, SINGH J, KAUR L, et al. Meat analogs: Protein restructuring during thermomechanical processing[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(2): 1221-1249.
- [24] ZHANG T Y, DOU W, ZHANG X, et al. The development history and recent updates on soy protein-based meat alternatives[J]. Trends in Food Science and Technology, 2021, 109: 702-710.
- [25] 王强, 张金闯. 高水分挤压技术的研究现状、机遇及挑战[J]. 中国食品学报, 2018, 18(7): 1-9.
- WANG Q, ZHANG J C. Research status, opportunities and challenges of high moisture extrusion technology[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(7): 1-9.
- [26] DEKKERS B L, BOOM R M, VAN DER GOOT A J. Structuring processes for meat analogues[J]. Trends in Food Science and Technology, 2018, 54(8): 1187-1190.
- [27] 齐新美. 大豆拉丝蛋白素食研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(7): 113-114, 127.
- QI X M. Study on soybean drawing protein vegetarian diet[J]. China Condiment, 2016, 41(7): 113-114, 127.
- [28] 张金闯. 高水分挤压过程中花生蛋白构象变化及品质调控[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- ZHANG J C. Conformational changes and quality control of peanut protein during the high-moisture extrusion process[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [29] SAMARD S, RYU G H. A comparison of physicochemical characteristics, texture, and structure of meat analogue and meats[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(6): 2708-2715.
- [30] SAMARD S, RYU G H. Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(10): 1-11.
- [31] MCCLEMENTS D J, GROSSMANN L. The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(4): 4049-4100.
- [32] WIEBE M G. Quorn™ Myco-protein - Overview of a successful fungal product[J]. Mycologist, 2004, 18(1): 17-20.
- [33] 赵知微. 素肉饼配方及加工工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- ZHAO Z W. Study on formulation and processing technology of veggie meat-like patty[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [34] 徐进, 周辉, 周凯, 等. 响应面法优化植物基香肠配方[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 205-212.
- XU J, ZHOU H, ZHOU K, et al. Optimization of processing technology of plant-based sausage by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 205-212.
- [35] 李翠芳, 张钊, 张兆兴, 等. 大豆蛋白源配料特性对素肉饼品质的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(1): 93-97.
- LI C F, ZHANG Z, ZHANG Z X, et al. Effect of soy protein source ingredients properties on the quality of veggie meat-like patty[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(1): 93-97.
- [36] 臧明伍, 韩凯, 王宇, 等. 植物油在肉制品加工中的应用[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2008, 29(3): 72-75, 80.
- ZANG M W, HAN K, WANG Y, et al. Application of vegetable oil on processing of meat products[J]. Journal of Henan University of Technology, 2008, 29(3): 72-75, 80.
- [37] ASGAR M A, FAZILAH A, HUDA N, et al. Non-meat protein alternatives as meat extenders and meat analogs[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2010, 9(5): 513-529.
- [38] 陈益春, 姜帅, 曹传爱, 等. 植物油预乳状液替代猪脂肪对法兰克福香肠品质特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 86-92.
- CHEN Y C, JIANG S, CAO C A, et al. Evaluation of the quality of frankfurters prepared with highly stable vegetable oil-in-water pre-emulsions as a partial replacer of pork back fat[J]. Food Science, 2019, 40(24): 86-92.
- [39] 陈文华, 郭爱菊, 乔晓玲, 等. 人造素香肠及其制备方法: CN200810057452.8[P]. 2008-02-01[2021-09-02].
- CHEN W H, GUO A J, QIAO X L, et al. The processing technology of an artificial vegetarian

- sausage: CN200810057452.8[P]. 2008-02-01[2021-09-02].
- [40] 陈林, 陈维, ETTELAIE R, 等. 油脂预乳化提高大豆拉丝蛋白素食香肠品质[J]. 农业工程学报, 2021, 37(13): 291-298.
- CHEN L, CHEN W, ETTELAIE R, et al. Improving the quality of vegetarian sausage prepared with textured fibril soy protein using oil pre-emulsification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(13): 291-298.
- [41] YOUSSEF M K, BARBUT S. Effects of pre-emulsifying fat/oil on meat batter stability, texture and microstructure[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(6): 1216-1224.
- [42] 杜洁晨. 大豆组织蛋白质构调整及其在素肉香肠中的应用研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- DU J C. Structure adjustment of soybean tissue protein and its application in vegetarian sausage [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.
- [43] FORGHANI Z, ESKANDARI M H, AMINLARI M, et al. Effects of microbial transglutaminase on physicochemical properties, electrophoretic patterns and sensory attributes of veggie burger[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(8): 2203-2213.
- [44] JONES W G. Recent advances in the functionality of non-animal-sourced proteins contributing to their use in meat analogs[J]. Current Opinion in Food Science, 2016, 7: 7-13.
- [45] 郭玉华, 李钰金. 植物蛋白与乳蛋白在肉制品加工中的应用[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 28-32.
- GUO Y H, LI Y J. Application of vegetable protein and milk protein in meat industry: A review[J]. Meat Research, 2011, 25(5): 28-32.
- [46] FOGEDING E A, DAVIS J P. Food protein functionality: A comprehensive approach[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1853-1864.
- [47] 翟凤辉, 邵广超. 不同淀粉对灌肠感官特性的影响[J]. 肉类工业, 2008(1): 34-38.
- ZAI F H, SHAO G H. Effects of different starch on organoleptic property of sausage[J]. Meat Industry, 2008(1): 34-38.
- [48] IOFFE M L, MORARU C I, KOKINI J L. Influence of modified starches on the stability of beef jerky analogs during storage[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(2): 682-687.
- [49] PHILLIPS G O, WILLIAMS P A. Handbook of hydrocolloids[M]. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009: 8.
- [50] 彭劲娣. 亲水胶体的应用[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(6): 15-16.
- PENG J D. Applications of food hydrocolloids[J]. Food Research and Development, 2000, 21(6): 15-16.
- [51] 钱毅玲. 亲水胶体在低脂乳化肠中的作用及应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- QIAN Y L. Application of hydrocolloids in low-fat emulsion-type sausage[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [52] 米红波, 苏情, 王聪, 等. 亲水胶体在鱼糜制品中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 328-332.
- MI H B, SU Q, WANG C, et al. Research progress of the application of hydrocolloids in surimi products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(19): 328-332.
- [53] VERBEKEN D, NEIRINCK N, PVANDER M, et al. Influence of kappa-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins[J]. Meat Science, 2005, 70(1): 161-166.
- [54] RAMÍREZ J A, URESTI R M, VELAZQUEZ G, et al. Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1842-1852.
- [55] GOLDSTEIN B, MOUSES R, SAMMONS N, et al. Potential to curb the environmental burdens of American beef consumption using a novel plant-based beef substitute[J]. PLoS One, 2017, 12(12): 1-17.
- [56] 张国丛, 李美桃, 刘欢, 等. 亲水胶体及其复配胶在肉制品中应用的研究进展[J]. 肉类研究, 2008(4): 7-9.
- ZHANG G C, LI M T, LIU H, et al. On hydrocolloids and its complex gums used in meat products[J]. Meat Research, 2008(4): 7-9.
- [57] YEMENICIOĞLU A, FARRIS S, TURKYILMAZ M, et al. A review of current and future food applications of natural hydrocolloids[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2020, 55(4): 1389-1406.
- [58] NANTA P, SKOLPAP W, KASEMWONG K. Influ-

- ence of hydrocolloids on the rheological and textural attributes of a gluten-free meat analog based on soy protein isolate [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(3): e15244.
- [59] ZHAO J, WANG T Z, XIE J C, et al. Meat flavor generation from different composition patterns of initial Maillard stage intermediates formed in heated cysteine-xylose-glycine reaction systems [J]. *Food Chemistry*, 2019, 274: 79-88.
- [60] 李学杰, 宋焕禄, 王中江, 等. 基于 SPME-GC-O-MS 及质谱分析对烤牛肉和植物蛋白肉的感官品质探究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(12): 8-18.
- LI X J, SONG H L, WANG Z J, et al. Research on sensory quality of roasted beef and plant-based meat analogues based on SPME-GC-O-MS and texture analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(12): 8-18.
- [61] 沈军卫. 大豆蛋白酶解物制备猪肉香精的研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2010.
- SHEN J W. Study on the preparation of pork flavoring by hydrolyzing soybean protein[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2010.
- [62] 高应瑞. 毕赤酵母表达风味强化肽呈味研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
- GAO Y R. Study on flavor property of beefy meaty peptide expressed in *Pichia Pastoris* [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011.
- [63] 李晶晶. 人造肉, 味蕾革命还是资本盛宴[J]. *中国发明与专利*, 2019, 16(7): 66-70.
- LI J J. Artificial meat, a revolution of taste bud or a capital feast?[J]. *China Invention and Patent*, 2019, 16(7): 66-70.
- [64] 李东巧, 谢华玲, 杨艳萍, 等. 人造肉领域国际创新发展态势分析[J]. *世界科技研究与发展*, 2021, 43(1): 43-53.
- LI D Q, XIE H L, YANG Y P, et al. Analysis of the development trend of international innovation in artificial meat[J]. *World Sci-Tech R & D*, 2021, 43(1): 43-53.
- [65] Mit Technology Review. 10 breakthrough technologies 2019[EB/OL]. (2019-02-27)[2021-09-02]. <https://www.technologyreview.com/10-break-through-technologies/2019/>.
- [66] 中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会关于公开征求《植物基肉制品(征求意见稿)》团体标准意见的通知[EB/OL]. (2020-07-18)[2021-09-02]. <http://www.cifst.org.cn/a/dynamic/tongzhi/20200624/1875.html>.
- Chinese Institute of Food Science and Technology. Chinese Institute of Food Science and Technology notice on public soliciting opinions on group standards of plant-based meat products(Draft)[EB/OL]. (2020-07-18)[2021-09-02]. <http://www.cifst.org.cn/a/dynamic/tongzhi/20200624/1875.html>.

Progress on the Application of Raw Materials and Ingredients in the Processing of Comminuted Meat-analog Products

Chen Lin¹, Yu Lin¹, Rammile Ettelaie², Ding Lijun¹, Sun Jianxia¹

(¹Department of Food Science, College of Chemical Engineering and Light Industry, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006

²College of Food Science and Nutrition, University of Leeds, Leeds LS29JT, United Kingdom)

Abstract Comminuted meat-analog products could approximate the taste and nutritional value of real meat products without slaughter and environmental devastation, and could effectively avoid the potential health risk of eating animal products. Therefore, comminuted meat-analog products have been considered as an ideal alternative that could change the traditional pattern of animal products consumption, and have become an important issue in the processing of vegetarian foods. This review summarized the raw materials and ingredients applied at home and abroad in the processing of comminuted meat-analog products, and elaborated their influences on the texture, flavor, colour and nutrition of final products. The status of research, development and production of comminuted meat-analog products were reviewed, and furthermore, theoretical problems, technological problems and future development in the processing of this particular products were also discussed.

Keywords comminuted meat-analog products; raw materials and ingredients; processing technology; textural property; research progress